



PATENT
81870.0027

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of:

Michifumi SHODA, et al.

Serial No: 10/758,692

Filed: January 15, 2004

For: AN OPTICAL ISOLATOR
ELEMENT, A METHOD FOR
PRODUCING SUCH AN ELEMENT,
AND AN OPTICAL ISOLATOR
USING SUCH AN ELEMENT

Art Unit: Not assignment

Examiner: Not assignment

I hereby certify that this correspondence
is being deposited with the United States
Postal Service with sufficient postage as
first class mail in an envelope addressed
to:

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450, on

February 2, 2004

Date of Deposit

Rebecca L. Golden

Rebecca L. Golden

February 2, 2004

Signature Date

TRANSMITTAL OF PRIORITY DOCUMENT

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Enclosed herewith is a certified copy of Japanese patent application No. 2003-021093 which was filed January 29, 2003, from which priority is claimed under 35 U.S.C. § 119 and Rule 55.

Acknowledgment of the priority document(s) is respectfully requested to ensure that the subject information appears on the printed patent.

Respectfully submitted,

HOGAN & HARTSON L.L.P.

By: *Lawrence J. McClure*

Lawrence J. McClure
Registration No. 44,228
Attorney for Applicant(s)

500 South Grand Avenue, Suite 1900
Los Angeles, California 90071
Telephone: 213-337-6700
Facsimile: 213-337-6701

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 1月29日
Date of Application:

出願番号 特願2003-021093
Application Number:

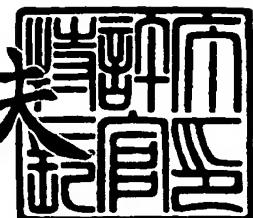
[ST. 10/C] : [JP2003-021093]

出願人 京セラ株式会社
Applicant(s):

2003年 9月19日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 28378
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G02B 27/28
【発明者】
【住所又は居所】 北海道北見市豊地30番地 京セラ株式会社北海道北見
工場内
【氏名】 庄田 学史
【発明者】
【住所又は居所】 北海道北見市豊地30番地 京セラ株式会社北海道北見
工場内
【氏名】 佐藤 恭史
【発明者】
【住所又は居所】 東京都世田谷区玉川台2丁目14番9号 京セラ株式会
社東京用賀事業所内
【氏名】 古堅 由紀子
【発明者】
【住所又は居所】 東京都世田谷区玉川台2丁目14番9号 京セラ株式会
社東京用賀事業所内
【氏名】 重岡 義之
【特許出願人】
【識別番号】 000006633
【住所又は居所】 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地
【氏名又は名称】 京セラ株式会社
【代表者】 西口 泰夫
【先の出願に基づく優先権主張】
【出願番号】 特願2002-211587
【出願日】 平成14年 7月19日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 005337

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光アイソレータ用素子とその製造方法及びこれを用いた光アイソレータ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 1 以上の平板状のファラデー回転子と、 2 以上の平板状の偏光子とを直接接合することにより、 積層一体化させたことを特徴とする光アイソレータ用素子。

【請求項 2】 1 以上の平板状のファラデー回転子と、 2 以上の平板状の偏光子とを、 無機材料からなる多層膜を介して直接接合することにより積層一体化させたことを特徴とする光アイソレータ用素子。

【請求項 3】 1 以上の平板状のファラデー回転子と、 2 以上の平板状の偏光子とを、 軟質材からなる膜を介して直接接合することにより積層一体化させたことを特徴とする光アイソレータ用素子。

【請求項 4】 1 以上の平板状のファラデー回転子と、 2 以上の平板状の偏光子とを積層一体化させた光アイソレータ用素子において、 前記平板状のファラデー回転子と前記平板状の偏光子からなる被接合材料の表面を清浄、 活性化する工程と、 真空中にて前記被接合材料同士を接触させ、 ファンデルワールス力により接合する工程を含む光アイソレータ用素子の製造方法。

【請求項 5】 1 以上の平板状のファラデー回転子と、 2 以上の平板状の偏光子とを積層一体化させた光アイソレータ用素子において、 前記平板状のファラデー回転子と前記平板状の偏光子からなる被接合材料の表面を清浄化する工程と、 前記被接合材料における接合面のうち少なくとも 1 つの表面に水酸基を吸着させて表面を活性化させる工程と、 真空中にて前記被接合材料同士を接触させ、 一方の被接合材料表面の水酸基と他方の被接合材料表面の酸素原子との間に生じる水素結合力により接合する工程を含む光アイソレータ用素子の製造方法。

【請求項 6】 前記被接合材料の表面を平滑化する工程を含み、 かつ前記表面の面粗さ R_a が 10 nm 以下であることを特徴とする、 請求項 4 または 5 記載の光アイソレータ用素子の製造方法。

【請求項 7】 前記被接合材料の表面に無機材料からなる多層膜を形成する工程

を含む、請求項 4～6 のいずれかに記載の光アイソレータ用素子の製造方法。

【請求項 8】前記被接合材料の表面に金属、半金属からなる薄膜を形成する工程を含む、請求項 4～6 のいずれかに記載の光アイソレータ用素子の製造方法。

【請求項 9】前記被接合材料の接合を室温下にて行うことを特徴とする請求項 4～8 のいずれかに記載の光アイソレータ用素子の製造方法。

【請求項 10】請求項 1～3 のいずれかに記載の光アイソレータ用素子の周囲に磁石を備えてなる光アイソレータ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光源から出射された光を各種光学素子や光ファイバに導入した際に生じる戻り光を除去するために用いられる光アイソレータ用素子とその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

光通信用モジュール等において、レーザ光源等の光源から出射した光は、各種光学素子や光ファイバに入射されるが、入射光の一部は各種光学素子や光ファイバの端面や内部で反射されたり散乱されたりする。この反射や散乱した光の一部は、戻り光として光源に戻ろうとするが、この戻り光を防止するために光アイソレータが用いられる。

【0003】

従来、この種の光アイソレータは、2枚の偏光子の間に平板状のファラデー回転子を設置し、これら3つの部品を筒状の磁石内に部品ホルダを介して収納することにより構成されていた。通常、ファラデー回転子は飽和磁界内において所定の波長をもつ光の偏光面を45°回転する厚みに調整され、また2つの偏光子はそれぞれの透過偏光方向が45°回転方向にずれるように回転調整されて構成されている。

【0004】

このような構成の光アイソレータは、ファラデー回転子と2つの偏光子が別部

品で各素子にホルダが必要であり、そのため部品点数が多くなり組立工数が多くなるばかりか、各部品間の光学上の調整作業が煩雑で、コスト高を招いていた。また小型化が難しかった。

【0005】

このため、平板状のファラデー回転子の両面にそれぞれ平板状の偏光子を接着一体化した構成の光アイソレータ用素子を、筒状の磁石内中央部に配置した光アイソレータも提案されている。

【0006】

図6は従来の小型化された光アイソレータ15の構成を示す図である。

【0007】

特許文献1には図6に示す従来の光アイソレータが示されており、以下にその構成について説明する。

【0008】

光アイソレータ15はファラデー回転子16、偏光子17、18を光透過性が良く屈折率が制御されている光学接着剤19で接着した光アイソレータ用素子20と筒状の磁石21とからなる。ここで偏光子17、18は透過する光の一方の偏波成分を吸収し、その偏波成分に直交する偏波成分を透過する機能を有し、また、ファラデー回転子16は飽和磁界強度において所定波長の光の偏波面を約45度回転する機能を有する。また2つの偏光子17、18は、それぞれの透過偏波方向が約45度ずれるように配置されている。

【0009】

図7は従来の光アイソレータ用素子20の製造方法を示す図である。

【0010】

まず図7（a）（b）に示すように、10mm角程度の偏光子基板22とファラデー回転子基板23と偏光子基板24を接着一体化する。ここで偏光子22の透過偏波方向はある1辺に平行な方向に設定されており、偏光子24の透過偏波方向は、ある1辺に45度の方向に設定されている。各光学基板の固定は、偏光子22とファラデー回転子23、および偏光子24は互いの1辺が平行になるよう接着される。また、各光学素子の接着一体化には、前述したように光学的に透

明な樹脂が接着剤として用いられ、一般的にエポキシ系、アクリル系の有機系接着剤が使用されている。

【0011】

ここで、光アイソレータに高いアイソレーションが要求される場合は、ファラデー回転子の偏波回転角度 $45 + \alpha$ 度に対し、偏光子 22 と偏光子 24 の回転ズレを $45 - \alpha$ 度に精密に調整する必要がある。具体的には光を逆方向から（偏光子基板 24 側から）入射し、透過してくる光が最も小さくなるように偏光子 22 と偏光子 24 を回転調整する。

【0012】

次に図 6 (c) (d) に示すように、光アイソレータ用素子基板 25 を、ダイシング等で小さなチップ状の多数の光アイソレータ用素子 20 に加工する。さらに筆者らは、各光学素子の接合に樹脂を用いない小型化された光アイソレータを提案した。

【0013】

この光アイソレータ用素子 20 を作製する場合には、大型の偏光子基板とファラデー回転子基板を交互に積層して、接着完了後にこれをカットして多数個の光アイソレータ用素子 20 を得るといった方法を用いることにより、作業性や生産量を高くし、さらに部品点数を削減することができる。なお、前記光学接着剤 19 としては、一般的にエポキシ系、アクリル系の有機系接着剤が使用されている。

さらに筆者らは、各光学素子の接合に樹脂を用いない小型化された光アイソレータを提案した。

【0014】

特許文献 2 には樹脂を用いない小型化された光アイソレータが示されており、これは図 6 に示す光アイソレータ用素子 20 の接合に樹脂を用いず、透光性の低融点ガラスを用いたものである。その製造方法は、図 7 に示すものとほぼ同じであるが、偏光子基板 22 とファラデー回転子基板 23 と偏光子基板 24 を一体化する際に、透光性の低融点ガラスを素子間に挟み込み、低融点ガラスが溶融する温度において、各素子を接合するものである。

【0015】**【特許文献1】**

特開平4-338916号

【特許文献2】

特開平8-146351号

【0016】**【発明が解決しようとする課題】**

しかし、上述のようにファラデー回転子16の両面に板状の偏光子17、18を接着剤19により一体化した光アイソレータ用素子20において接着剤19が有機系接着剤の場合は、耐湿性が劣り、特に高温高湿条件下での使用が制限される問題がある。また、長時間あるいは高出力のレーザ光中の使用では接着剤19の変質の危険があり、信頼性に問題がある。

【0017】

また、光アイソレータ用素子20をレーザモジュールに組み込む際、光アイソレータ15は高温下に曝されるが、接着剤19として有機系接着剤を用いた場合はこれが分解し、気泡の発生、部材の脱落等が生じる。さらに、有機系接着剤19からのアウトガスはレーザチップやレンズなどの光学部品表面上に付着し、光学特性を劣化させる危険がある。

【0018】

また、ファラデー回転子16の両面に板状の偏光子17、18を低融点ガラス19により接着して一体化した光アイソレータ用素子20においては、低融点ガラス19のガラス転移温度が数百度と高く、これを溶融させ各部材同士を固着させた後、室温まで冷却する際、熱応力が増加し、クラック等が発生する危険がある。また、ファラデー回転子16に熱応力が加わるとこれを透過する光の消光比が劣化し、光アイソレータ15の諸特性、特に逆方向損失特性が劣化する。

【0019】**【課題を解決するための手段】**

本発明は、上記問題点に鑑みてなされたものであり、1以上の平板状のファラデー回転子と2以上の平板状の偏光子を、直接接合することにより積層、一体化

させたことを特徴とするものである。

【0020】

また、1以上の平板状のファラデー回転子と2以上の平板状の偏光子を、無機材料からなる多層膜を介して直接接合することにより積層、一体化させたことを特徴とするものである。

【0021】

さらに、1以上の平板状のファラデー回転子と2以上の平板状の偏光子を積層、一体化させた光アイソレータ用素子において、前記平板状のファラデー回転子と前記平板状の偏光子からなる被接合材料の表面を清浄化する工程と、真空中にて前記被接合材料同士を接触させ、ファンデルワールス力により接合する工程を含む光アイソレータ用素子の製造方法を特徴とするものである。

【0022】

また、前記平板状のファラデー回転子と前記平板状の偏光子からなる被接合材料の表面を清浄化する工程と、前記被接合材料における接合面のうち少なくとも1つの表面に水酸基を吸着させて表面を活性化させる工程と、真空中にて前記被接合材料同士を接触させ、一方の被接合材料表面の水酸基と他方の被接合材料表面の酸素原子との間に生じる水素結合力により接合する工程を含む光アイソレータ用素子の製造方法を特徴とするものである。

【0023】

さらに、前記被接合材料の表面に無機材料からなる多層膜を形成する工程を含む、光アイソレータ用素子の製造方法を特徴とするものである。

【0024】

また、前記被接合材料の接合を室温下にて行うことを特徴とするものである。

【0025】

さらに、前記光アイソレータ用素子の周囲に磁石を備えて光アイソレータを構成することを特徴とするものである。

【0026】

【発明の実施の形態】

以下、図面を用いて本発明の実施例を説明する。

【0027】

図1は、本発明の光アイソレータの実施形態を示す斜視図である。

【0028】

図1に示すように、光アイソレータ1はファラデー回転子2、偏光子3、4を、直接接合することにより積層し、一体化した光アイソレータ用素子5と筒状の磁石6とからなる。なお、光アイソレータ用素子5は大型のファラデー回転子基板と同じく大型の偏光子基板2枚を直接接合させた後、適當な大きさに細分化し、作製される。

【0029】

ファラデー回転子2は、例えばビスマス置換ガーネット結晶等で、その厚みは所定の波長をもつ入射光線の偏光面が45度回転する様に設定する。一般に、偏波面を回転させるためには、入射光線の光軸L方向に十分な磁界を印可することが必要である。また、自己バイアス型のファラデー回転子を用いれば磁石なしでも光アイソレータ1は動作し、磁石6は不要となる。

【0030】

2枚の偏光子3、4は、入射する光の1方向の偏光成分を吸収する機能を有する吸収型偏光子、あるいは入射する光の1方向の偏光成分を分離または合成する複屈折性偏光子で構成される。例えば、ファラデー回転子2が入射する光の偏光面を45°光軸まわりに回転させるもので、偏光子3、4として吸収型偏光子を用いた場合、偏光子3の透過偏光方向を偏光子4の透過偏光方向に対して45°光軸まわりにずらした構成とすればよい。

【0031】

本実施例においては、偏光子3とファラデー回転子2の接合面、およびファラデー回転子2と偏光子4の接合面は、各表面の原子同士が常温下で直接接合されており、接着剤等の異種材料は存在しない。偏光子3、4とファラデー回転子2の接合界面には、数nmの非常に薄い中間層が存在するのみである。

【0032】

図2は本発明の光アイソレータ用素子の作製方法を示す図である。

【0033】

先ず図2 (a) に示すように、大型の偏光子基板とファラデー回転子基板を直接接合すべく、光学素子7 (大型の偏光子基板及びファラデー回転子基板) の表面を研磨により平滑化し、次に図2 (b) に示すようにスパッタにより清浄化、表面活性化する。

【0034】

研磨工程は、化学的な腐食作用のある液体に、セラミックスやダイヤモンドの研磨砥粒を混ぜて研磨するCMP (Chemical Mechanical Polishing) と呼ばれる方法等を用い、平坦度 $10 \mu\text{m}$ 以下、面粗さ 10 nm 以下の超平滑面が望ましい。また接合のためには、表面の加工変質層を除去するよう研磨加工する。上記の研磨方法は数 nm 単位で研磨が可能で研磨層の下部にほとんどダメージを与えない。また、単なる機械研磨では、平坦度、面粗さは所望の値を達成しても加工により化学的に変化した加工変質層が残存し、この後の面接合ができない。

【0035】

なお、CMPは、ポリッシュと洗浄からなる。ポリッシュは、図2 (a) に示すように光学素子7を超純水中でポリッシングパッド8を用いてポリッシュした後、平均粒径 30 nm の SiO_2 粒子を NaOH 溶液に懸濁させたコロイダルシリカ9中でポリッシュする。洗浄は、(イ) アルコールによる超音波バス、(ロ) 超純水による超音波バス、(ハ) スピンドライヤーにて乾燥する。なお各工程間は超純水でリムスされる。

【0036】

上記研磨工程の後、図2 (b) に示すように、大型の光学素子7 (偏光子基板とファラデー回転子基板) を真空槽10内に対向しておき、イオンビームまたは中性の原子を各光学素子に照射することにより清浄化、表面活性化を行う。これは大気中で接合表面に付着した気体分子の層や汚染物や酸化膜を除去して、清浄な面を出すためである。表面活性化は通常、アルゴン高速原子ビームなどの不活性ガス (Fast Atom Beam) を照射し、スパッタすることにより、物質表面をエッティングすると、これらの表面層を除去することができ、この処理により接合面は他の原子と強い結合力をもつ活性な状態になる。

【0037】

ここで真空槽10は真空ポンプ11によって排気、真空化され、その真空度は接合面の洗浄度に影響を与えるため、できるだけ高い方が望ましく、現実的には 10^{-2} Pa以上が必要である。また、図2 (b) 中で12はビーム源、13は不活性ガス導入装置を示す。ここでイオンビームまたは中性原子の照射強度、照射時間を適宜設定し、光学素子7表層の約10nm程度を除去する。光学素子7を真空槽10内に配置し、真空ポンプ11によって 10^{-4} Pa程度まで排気する。次にアルゴンなどの不活性ガスによるイオンビームまたは中性の原子を各光学素子に照射する。

【0038】

上記工程を経た後、真空中、室温下にて各光学素子7の表面同士を面全体で密着させるとファンデルワールス力により自然に吸着する。なお、清浄化された光学素子7表面は、非結合状態になっている軌道、つまりダングリングボンドが多く発生する。これらのダングリングボンドは極めて活性であるからそのまま放置すると、たとえ真空槽10を高真空に維持しても、真空槽10内に残留している窒素や炭素、炭化水素等の不純物が表面に化学吸着して表面を不活性化してしまう。そこで、光学素子7の清浄工程の後、それぞれを密着させるまではなるべく短時間で終了させる必要がある。

【0039】

また各光学素子7の接合を強固にするために、面密着時に加圧することが望ましい。ここで、加圧力は、接合面の面粗さに大きく関係し、例えば接合面が10nmRa程度の面粗さの場合は、1kgf程小さな加圧でも表面間の密着は達成される。

【0040】

ここで、図1に示す光アイソレータ1に高いアイソレーションが要求される場合は、ファラデー回転子2の偏波回転角度 $45 + \alpha$ 度に対し、偏光子3と偏光子4の透過偏波方向の回転ズレを $45 - \alpha$ 度に精密に調整する必要がある。具体的には大型のファラデー回転子基板と大型の偏光子基板2枚を接合する際、光を逆方向から入射し、透過してくる光が最も小さくなるように大型の偏光子基板同士

を回転調整する。なお、大型の偏光子基板の外形に対する透過偏波方向や大型のファラデー回転子基板の偏波回転角等、各光学素子7の偏光特性をあらかじめ測定しておけば、真空層10内にて各光学素子7外形の相対角度を調整した後、互いに接合することにより、優れた光学特性をもつ光アイソレータ用素子5を得ることが出来る。

【0041】

なお、ファラデー回転子2と2枚の偏光子3、4を直接接合すると、境界部分ではそれぞれの屈折率が異なるため、入射した光線の一部が反射されるが、境界部分に面する光学素子7の表面に、あらかじめ無機材料の多層膜からなる反射防止膜を施すことによりこれを防止することができる。その場合、境界部分は、例えばSiO₂あるいはTiO₂あるいはTa₂O₅からなる約数百nmの膜同士の接合となるが、接合原理は変わらない。また、成膜された反射防止膜の表面に、隣接する光学素子の屈折率と同様の屈折率を持つ材料を数百nmから数μm成膜しておけば、清浄化工程により表層の数十nmが除去されても反射防止膜は正常に動作する。

【0042】

最後に、図2(c)の様に直接接合された大型の光学素子14をダイシングやワイヤーカット等の方法を用い、適當な大きさにカットして多数個の光アイソレータ用素子5を得る。

【0043】

図3は本発明の光アイソレータ用素子5の接合界面を示す模式図である。

【0044】

まずあらかじめ研磨砥粒37により接合表面を平滑化する。平滑化された偏光子基板表面の原子32、およびファラデー回転子基板表面の原子33には酸化膜や汚染物質35が付着結合している。これをイオン、又は中性原子36によりエッチング清浄化し、原子32、33の結合手が出るように表面の活性化を行う。この結合手が残る活性化された表面が互いに接触すると、原子同士が互いに結合し物質の接合が行われる。この時、原子レベルでは多少でこぼこしても、表面間に働く原子間力によって接合が可能でありが、さらに原子同士を密着させ結

合させるために加圧を行っている。

【0045】

このように接合された偏光子基板とファラデー回転子基板は非常に強い接合強度を示し、バルクとほぼ同じ強度を有する。また本発明の原理から、各素子の表面原子状態は、素子の接合強度に非常に重要な要素であることがわかる。

【0046】

図4は本発明の第2の実施形態を示す斜視図である。

【0047】

光アイソレータ素子30は偏光子3とファラデー回転子2と偏光子4からなり、これらは各素子の接合表面に形成された軟質材38で接合されている。軟質材は金属あるいは半金属の薄膜で、その成膜は蒸着やメッキ等により行う。また、その厚みは損失の増大や偏波特性等の光学的影响がない厚みとする必要があり、光の波長を λ とすると軟質材の厚みは $\lambda/4$ 以下であることが好ましい。

【0048】

軟質材を接合表面に蒸着することにより、その表面はSiO₂やTiO₂の誘電体硬質材より軟らかくなるため、加圧した際に変形し、より接合しやすくなる。軟質材としては、金属では、例えばAu、Al、Ag、Cu、Sn、Zn、Ga等、半金属ではSiあるいはこれらの金属を主成分とする合金を用いる。

【0049】

本実施形態の製造方法は前述した図2に示す方法と同じである。しかし、平滑化度、真空度、加圧力は、直接SiO₂やTiO₂を接合する第1の実施例にくらべて、接合条件はゆるくなり、常温接合がしやすくなる。

【0050】

また安定な接合を得るために、互いの接合界面の原子は同一の金属・半金属であることが望ましい。例えばアルミニウム(Al)あるいはシリコン(Si)の薄膜を偏光子基板、およびファラデー回転子基板の接合面に数十nmの厚みにあらかじめ蒸着し接合する。

【0051】

以上、上記製造工程では大型の光学素子14を作製する際、ファラデー回転子

基板と偏光子基板の接合表面を平滑化、清浄化し、光学素子7表面を活性化させた上で両者を密着、加圧し、ファンデルワールス力により直接接合させたが、さらに各光学素子7表面に水酸基を吸着させて、光学素子表面を活性化させた上で両者を密着させ、水素結合力により直接接合を行う方法もある。

【0052】

この場合、水酸基を吸着させるためには、真空雰囲気中で、清浄化された光学素子7に水分子を吹き付けて水分子と水酸基を吸着させた後に、前記水分子を除去する程度のエネルギーをプラズマビームやマイクロ波等にて光学素子7表面に与え、吸着した表面の水分子を除去し、水酸基のみを残留させればよい。

【0053】

もしくは、水分子に高周波あるいは直流電圧を印加し、その発生する電磁界によって、あるいはその電磁界により生成されたプラズマエネルギーによって水分子を水酸基に分解し、水酸基の形で、清浄化された光学素子7表面に噴射して水酸基を吸着させることでも実現できる。

【0054】

このように、本発明では光学素子7同士が直接接合されており、接着剤等の有機物は一切用いていないため耐湿性に優れた光アイソレータ用素子5を得ることが出来る。

【0055】

また、光アイソレータ用素子5にはLD光源からの高出力光が通過するが、光学素子7同士を接着剤により接合した場合は、接着剤部分が劣化し透過率が増加することにより、光アイソレータ用素子の挿入損失特性の劣化が懸念される。しかしながら本発明では、接着剤等の有機物は一切用いていないため耐光性のある光アイソレータ用素子5を得ることが出来る。

【0056】

さらに、光アイソレータ用素子5をレーザモジュールに組み込む場合の固定方法としては、半田の溶融固着、またはYAGレーザによる固定、さらには熱硬化型の接着剤を用いた接合などが考えられるが、いずれの場合も光アイソレータ用素子5は高温下に曝されることになる。しかしながら本発明では、接着剤等の有

機物は一切用いていないため、高温下に於いても樹脂の劣化は生じず、耐熱性のある光アイソレータ用素子5を得ることが出来る。

【0057】

ここで、光アイソレータ用素子5は大型のファラデー回転子基板と大型の偏光子基板2枚を積層後、適當な大きさに細分化されたものであるが、この作製作業工程中、特に低融点ガラスを用い大型の光学素子を積層する場合は、発生する熱応力の影響により、各光学素子にクラック等が発生したり、接着部に剥離が生じたりする。なお、2種の被着材を、接合用部材を用いて接合する場合に発生する熱応力Pは以下のように示される。

【0058】

$$P = K \times \Delta \alpha \times L \times (t_2 - t_1) + E \dots \text{ (式1)}$$

なお、Kは各部材の弾性率等に基づく係数、 $\Delta \alpha$ は被着材間の熱膨張係数差、Lは被着材のサイズ、 t_2 は接着時の加熱温度（低融点ガラスを用いた接合の場合はガラス転移温度）、 t_1 は室温、Eは他の要因による応力を示す。このように被着材に加わる熱応力は被着材間の熱膨張係数差、および接着時の加熱温度、被着材のサイズに比例し、これらが大きいと、被着材に加わる熱応力も増加することになる。

【0059】

一般的に低融点ガラスのガラス転移温度は300℃以上であり、 $(t_2 - t_1)$ 項が大きくなるために生じる熱応力が大きくなる。これを補うため被着材のサイズL、つまり大型の光学素子のサイズは一定以下にする必要があるため、必然的に一括して得られる光アイソレータ用素子5の数量も制限される。

【0060】

これに対して本発明による方法を用いるならば光学素子同士は、室温下にて接合されるため、 $(t_2 - t_1)$ 項が小さくなり、熱応力の発生を十分に抑制することが可能となるため、大型の光学素子同士を接合し、光アイソレータ用素子を一括して得ることが出来る。したがって光アイソレータの低価格化が可能となる。

【0061】

また、光アイソレータ1において、構成部材、特にファラデー回転子2に熱応力が生じると、これを通過する直線偏光の消光比に劣化が生じ、光アイソレータ1の逆方向損失特性が劣化する。図1に従いこれを説明する。逆方向から入射する反射戻り光は偏光子4を透過し、直線偏光となる。ファラデー回転子2を通過した直線偏光は-45度回転するが、同時にこれに対し直交する偏光成分も生じる。消光比に劣化が生じると、この直交する偏波成分が増加するが、これは偏光子3を通過するため、逆方向損失特性の劣化となる。

【0062】

図5はファラデー回転子に加わる応力と消光比の関係を示す図である。

【0063】

なお図5中では横軸に応力、縦軸にファラデー回転子2透過光の消光比を示す。ここで分かるように応力が加わっていない状態では、透過光の消光比が47dBと良好であっても、応力が増加するに従い透過光の消光比は劣化し、3kgf/mm²以上では光アイソレータ1の一般的な特性下限設定値である25dBを下回ることがわかる。

【0064】

いま、光アイソレータ1における接着用部材として低融点ガラスを用いるならば、ファラデー回転子に加わる熱応力が大きくなるが、本発明の方法に依るならば、光アイソレータ用素子を構成する光学素子全てを室温下にて接合しているため、この熱応力の発生を十分に抑制することが出来る。すなわち光学特性の優れた光アイソレータ用素子5を得ることが出来る。

【0065】

なお、本発明において室温下とは-20~70℃の温度範囲をいう。

【0066】

【実施例】

本発明の光アイソレータの実施例とし図1に示した光アイソレータ用素子の試作を行った。

【0067】

大型の偏光子基板の寸法は10mm×10mm×t0.2mm、屈折率は1.

4.7、大型のファラデー回転子基盤の厚みは10mm×10mm×t0.4mm、屈折率は2.35である。なお、大型の偏光子基板2枚の外形に対する透過偏波方向や、大型のファラデー回転子基板の偏光回転角度等、偏光特性はあらかじめ測定されており、良好なアイソレーション特性を得るための、大型の偏光子基板同士の相対角度が算出されている。

【0068】

また大型の偏光子基板は、コーニング社製のポーラコア（製品名）を用い、大型のファラデー回転子基板はビスマス置換ガーネットを用いた。さらに大型のファラデー回転子基板表面にはTiO₂とSiO₂を適宜複数層成膜し、屈折率1.45の媒質に対する反射防止膜を施した後、表面にSiO₂を100nmだけ成膜している。なお、SiO₂の屈折率は1.45である。

【0069】

次にCMPの手法を用いて大型の偏光子基板表面、および大型のファラデー回転子基板最表面のSiO₂膜表面に化学研磨を施す。研磨液には化学的な腐食作用のある硫酸過酸化水素混合液を用いた。これにより各基板の面粗さは約10nmRaとなった。

【0070】

次に偏光子基板とファラデー回転子基板の表面活性化、および接合は真空槽内にておこなった。基板は真空槽内の所定の治具に保持し、真空度は真空ポンプにより10⁻⁷Torrまで排気した。その後、基板表面をArのビームにより60秒間照射し、表面の洗浄および活性化を行った。Arビームのエネルギーは約1keV、照射角は表面に対して45度とした。Arビーム照射によるエッティングは約5nmで十分小さく、光学特性に影響はない。その後、偏光子基板とファラデー回転子基板は真空槽内にて外形を基準として相対角度を調整した後、互いに直接接触、加圧し接合した。加圧は1kgfで3分間行い接合した。この接合により、屈折率1.47の大型の偏光子基板と、大型のファラデー回転子基板表面に成膜された屈折率1.45のSiO₂が接触することになるが、両者の屈折率差は十分小さいため、この境界面での反射率も0.01%と十分小さくなる。を接触・加圧し接合した。加圧は1kgfで3分間行い接合した。

【0071】

接合された大型の光学素子は、ダイシングによって切断し、1.2 mm×1.3 mmのブロック状光アイソレータ用素子5を49個作製した。

【0072】

これらの49個の光アイソレータ用素子はクラック、カケ、剥離等の発生はなく、また、作製した光アイソレータ素子に飽和磁界を印可し、特性を測定した結果、すべての光アイソレータは、挿入損失が0.2 dB以下、アイソレーションが40 dB以上の、良好で均一な特性を有することを確認した。なお、比較例として低融点ガラスにより各光学素子を接着し、その他寸法等を本発明の製品と等しくした製品も同時に作製した。上記の条件にて作製した光アイソレータ用素子のアイソレーション特性平均値及び光学素子に生じたクラックの発生率を表1に示す。

【0073】

【表1】

	光学素子接合方法	
	直接接合	低融点ガラス
逆方向損失特性（11個の平均） (単位: dB)	42.3	33.0
クラック発生割合 (単位: %)	0.0	73

【0074】

ここで示されたように、低融点ガラスを用いた光アイソレータ用素子では大きな熱応力が生じたためにアイソレーション特性が著しく劣化し。また、偏光子部にクラックが発生した。これに対し本発明の方法に従ったものでは良好なアイソレーション特性が得られ、クラックも発生もしなかった。

【0075】

また、チップ化された光アイソレータ用素子のせん断試験を行ったところ、全ての素子は接合面では破断が発生せず、素子内部からの破壊となり、接合強度は十分であることを確認した。

【0076】

以上の試作により、接着剤を用いた光アイソレータ素子と同等の工数、小型化

が実現し、かつ、接合面の長期安定性、樹脂フリー構成が実現した。

【0077】

【発明の効果】

上述のように本発明による光アイソレータは1以上の平板状のファラデー回転子と2以上の平板状の偏光子を、直接接合して積層、一体化させることにより、熱応力によるクラックの発生を抑制し、耐光性、耐熱性、アイソレーション特性に優れた光アイソレータ用素子を一括して作製することができる。また非常に小型で均一な品質の光アイソレータが作製できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の光アイソレータの実施形態を示す斜視図である。

【図2】

(a)～(c)は本発明の光アイソレータ用素子の作製方法を示す図である。

【図3】

本発明の光アイソレータ用素子の接合界面を示す模式図である。

【図4】

本発明の第2の実施形態を示す斜視図である。

【図5】

ファラデー回転子に加わる応力と消光比の関係を示す図である。

【図6】

従来の光アイソレータの構成を示す斜視図である。

【図7】

従来の光アイソレータの構成を示す斜視図である。

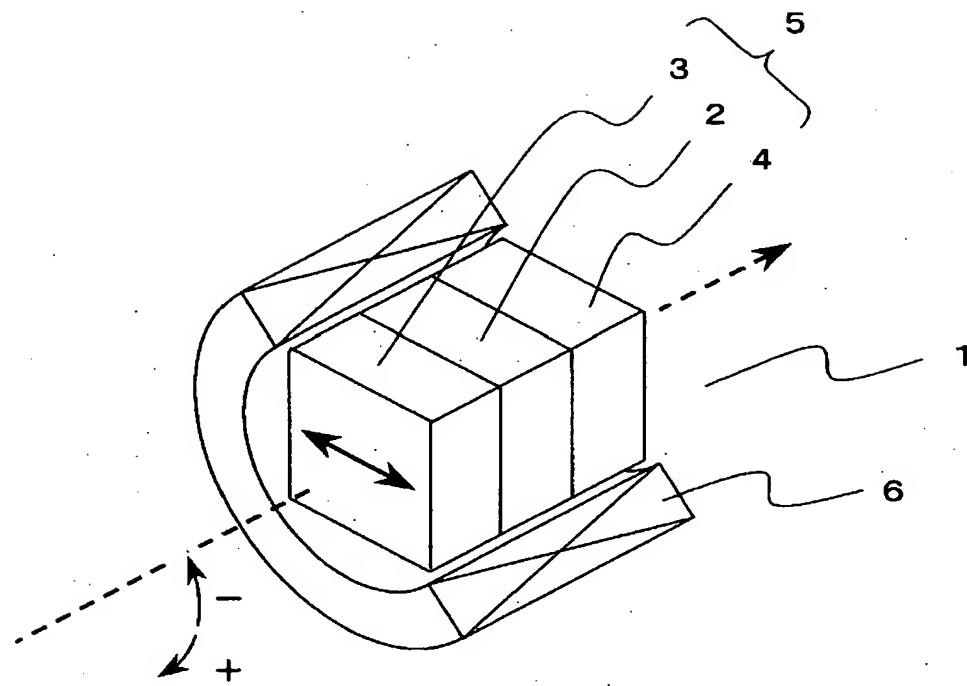
【符号の説明】

- 1、15、31：光アイソレータ
- 2、16：ファラデー回転子
- 3、4、17、18：偏光子
- 5、20、30：光アイソレータ用素子
- 6、21：磁石

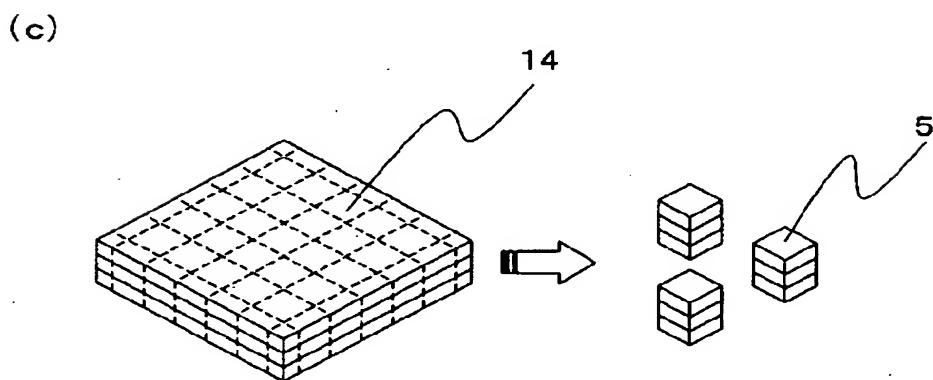
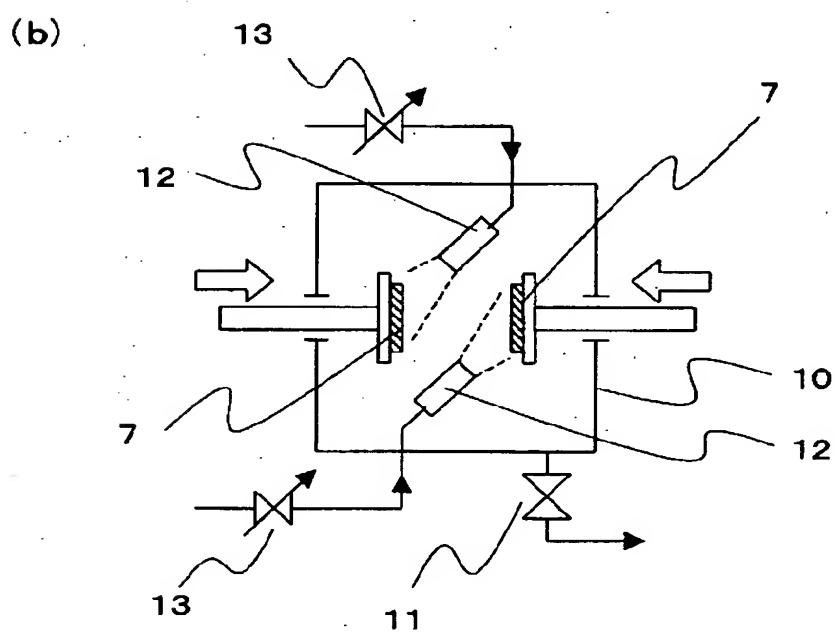
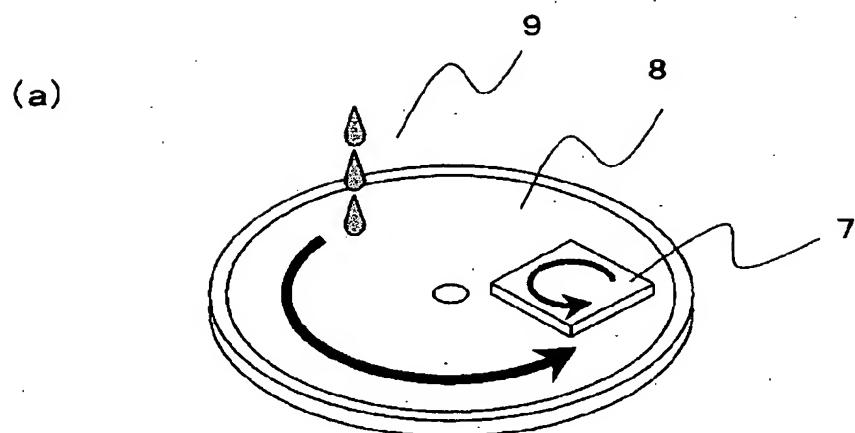
- 7：光学素子
- 8：ポリッシングパッド
- 9：コロイダルシリカ
- 10：真空槽
- 11：真空ポンプ
- 12：ビーム源
- 13：不活性ガス導入装置
- 14：大型の光学素子
- 19：接着剤
- 32、33：原子
- 35：汚染物質
- 36：中性原子
- 37：研磨砥粒
- 38：金属膜

【書類名】図面

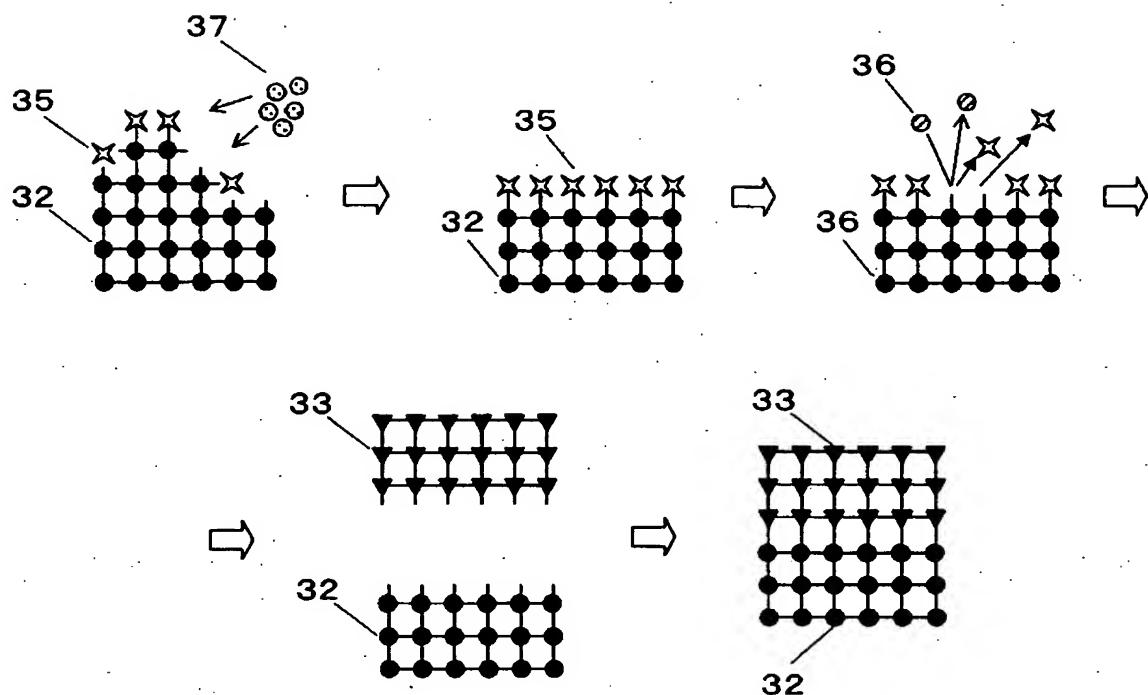
【図1】



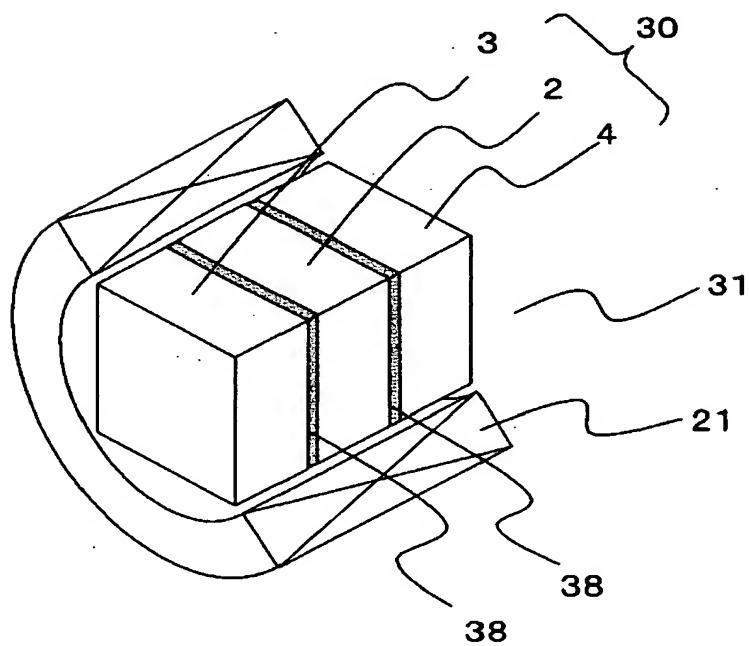
【図2】



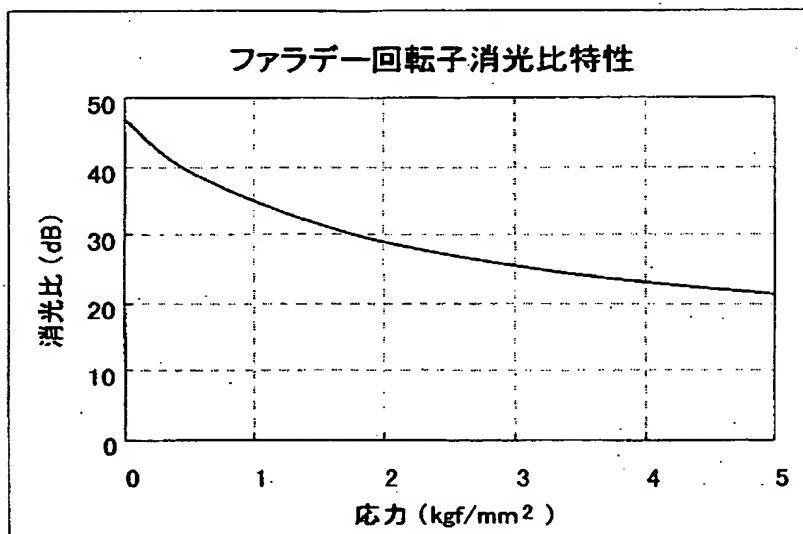
【図3】



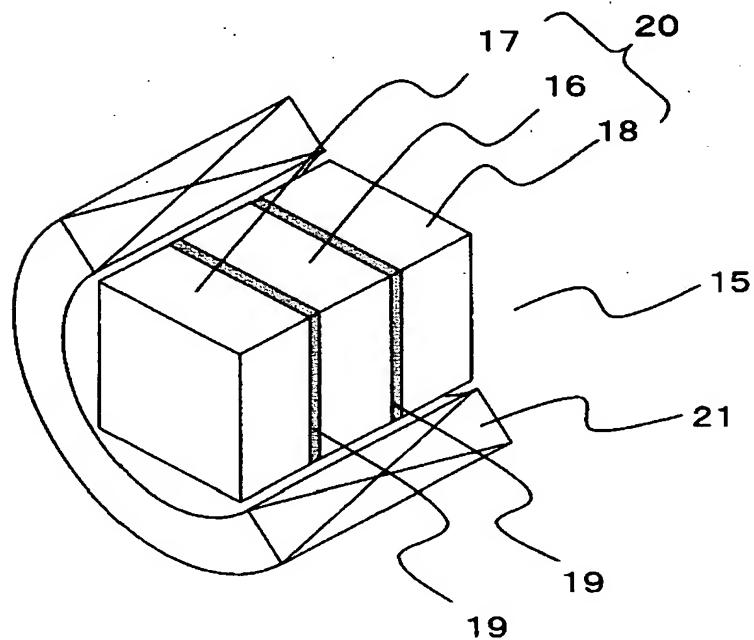
【図4】



【図 5】

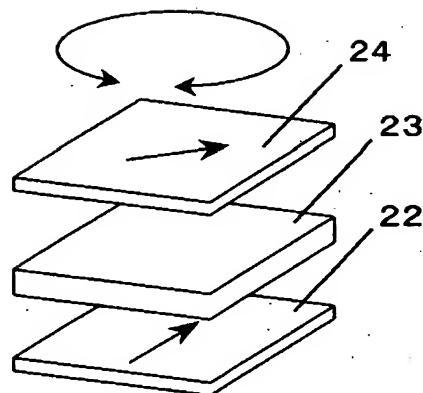


【図 6】

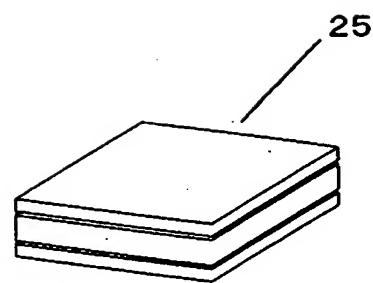


【図 7】

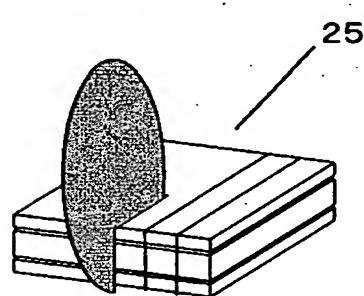
(a)



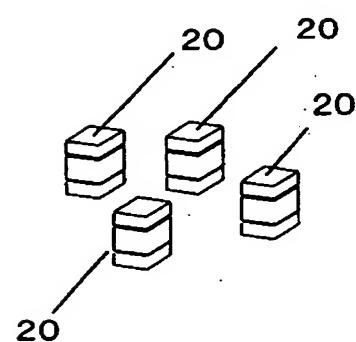
(b)



(c)



(d)



【書類名】要約書

【要約】

【課題】光アイソレータにおいて、より耐湿性、耐光性、耐熱性に優れ、且つ光学素子へのクラック発生を抑制し、良好な光学特性を得る。

【解決手段】1以上の平板状のファラデー回転子と2以上の平板状の偏光子を、直接接合することにより積層、一体化させる。

【選択図】図1

認定・付加情報

特許出願の番号 特願2003-021093
受付番号 50300142765
書類名 特許願
担当官 第一担当上席 0090
作成日 平成15年 2月 3日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成15年 1月29日

次頁無

出証特2003-3077437

特願 2003-021093

出願人履歴情報

識別番号 [00006633]

1. 変更年月日 1990年 8月10日
[変更理由] 新規登録
住 所 京都府京都市山科区東野北井ノ上町5番地の22
氏 名 京セラ株式会社

2. 変更年月日 1998年 8月21日
[変更理由] 住所変更
住 所 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地
氏 名 京セラ株式会社